

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-316108

(43)Date of publication of application : 16.11.1999

(51)Int.Cl.

G01B 11/00
G03F 9/00
H01L 21/027

(21)Application number : 11-036549

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 15.02.1999

(72)Inventor : PAUL DEREK KUHN

(30)Priority

Priority number : 98 23817

Priority date : 13.02.1998

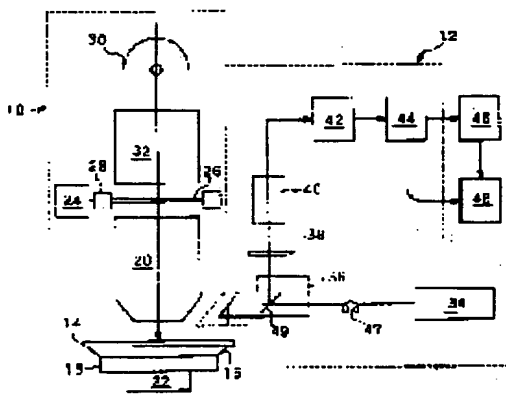
Priority country : US

(54) DEVICE AND METHOD FOR PROVIDING INFORMATION ON THE BASIS OF OPTICAL IMAGE OF A PRESCRIBED OBJECT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To develop a means for specifying and calibrating the system error of alignment process by clarifying the geometric form of an actual alignment mark for substrate alignment and examining the sectional form.

SOLUTION: A servomotor 24 precisely controls a leticle 26 so as to be positioned to the optical axis of a projection system 20. An illuminating light is emitted toward the leticle 26 through a series of lenses and filters. The pattern of the illuminating light is projected on a wafer 14 having a photoresist layer on the surface. An alignment system 12 for image pickup processing is provided on one side of a projection system 20. In alignment, the light of non-exposed light wavelength is sent to a microscopic system 36 to illuminate the wafer 14. According to this, the correlation between an alignment mark and the optical image thereof and the correlation between an object and the optical image can be determined, and the object can be precisely specified in alignment. Therefore, the precision and efficiency of alignment can be improved, and a means for specifying and calibrating the system error can be developed.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-316108

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 B 11/00

G 0 1 B 11/00

H

G 0 3 F 9/00

G 0 3 F 9/00

H

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 2 0 A

5 2 5 W

審査請求 未請求 請求項の数39 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-36549

(22) 出願日 平成11年(1999) 2月15日

(31) 優先権主張番号 0 2 3 8 1 7

(32) 優先日 1998年 2月13日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 ボール・デレック・クーン

アメリカ合衆国・94065・カリフォルニ

ア・レッドウッド・シティ・ニューボー

ト・サークル・875

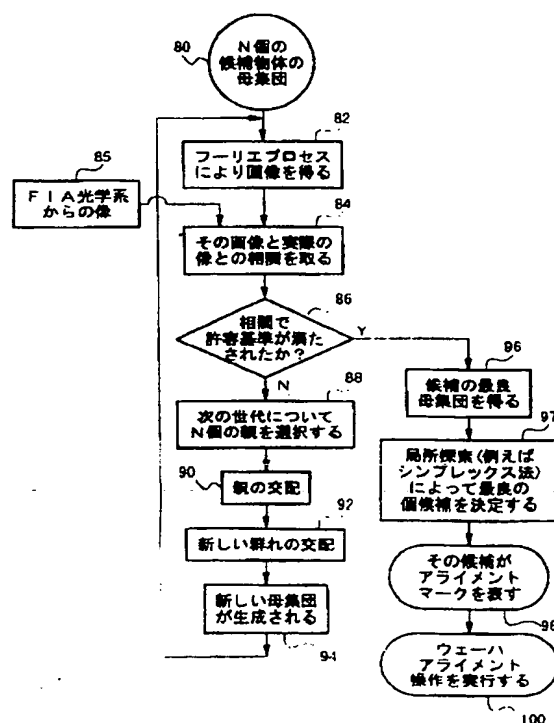
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外 5 名)

(54) 【発明の名称】 所定物体の光学像に基づき情報を得る装置、及び方法

(57) 【要約】

【課題】 アライメント・プロセスにおける再生性の系統誤差を特定し、較正するための手段を開発する。

【解決手段】 実際の光学像に類似した像を生じそうな1つ以上の初期候補物体を立てる。そのような候補物体の画像をフーリエ処理によってシミュレートまたは計算する。その計算画像と実際の像との相関を取り、相関結果が許容できなければ、1つ以上のより良い候補物体を新たに立てる。このプロセスを、実際の像と最良の相関を示す計算画像が見つかるまで繰り返す。最良相関を示す像を生じるその候補物体が実際の物体を表す。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定物体の光学像に基づき種々の情報を得る装置であって、

前記所定物体の光学像に関する第1情報を獲得する獲得手段と、

少なくとも1つの候補物体の形状に関する情報に基づき、該候補物体の光学像に関する第2情報を獲得する第1手段と、

前記第1情報と前記第2情報との相関をとり、該相関結果に基づき前記種々の情報を獲得する第2手段と、を有することを特徴とする装置。

【請求項2】 前記第1手段は、複数の候補物体から成る母集団を設定する設定手段と、前記母集団の個々の候補物体にそれぞれ対応する複数の前記第2情報を獲得する手段と、

前記母集団を更新する更新手段と、前記母集団の中から1つの母集団を決定する第1決定手段と、を含み、

前記第2手段は、前記第1手段に決定された母集団の中から、前記第1情報と所定の相関関係を満たす前記第2情報を持つ1つの候補物体を決定する第2決定手段を含み、

前記第2決定手段に決定された前記候補物体に基づき、前記種々の情報を獲得することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記第1手段は、適応最適化法に基づく大域探索方法に基づき、前記所定物体の光学像に類似した像を生じる候補物体の1つの母集団を決定することを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記大域探索方法は、遺伝型アルゴリズム技法または進化的戦略技法を含むことを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項5】 前記第1手段は、所定の許容基準が満たされると、前記1つの母集団を決定することを特徴とする請求項2乃至請求項4のいずれか1項に記載の装置。

【請求項6】 前記許容基準は、前記第1手段による動作期間が所定期間に達したことを含むことを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項7】 前記許容基準は、前記更新手段により、前記母集団が所定の世代数に達したことを含むことを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項8】 前記許容基準は、前記母集団の各候補物体に対応する前記第2情報と前記第1情報との相関が所定の相関関係に達したことを含むことを特徴とする請求項5に記載の装置。

【請求項9】 前記第2決定手段は、探索原点に基づき探索を行う局所探索方法により、前記第1情報と前記所定の関係を満たす前記第2情報を持つ1つの候補物体を決定することを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項10】 前記探索原点は、前記第1決定手段に

決定された母集団の各候補物体の情報を含むことを特徴とする請求項9に記載の装置。

【請求項11】 前記局所探索方法は、ニュートン技法またはシンプレックス技法を含むことを特徴とする請求項9または請求項10に記載の装置。

【請求項12】 前記第1情報及び前記第2情報は、画像情報を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項11のいずれか1項に記載の装置。

【請求項13】 前記候補物体の形状に関する情報は、複素画素列または数列で表されることを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれか1項に記載の装置。

【請求項14】 前記候補物体の形状に関する情報は、反射率情報、反射率の位相情報、大きさの画素数列の勾配情報、位相の画素数列の勾配情報、物体の幅比情報、平行移動比情報のうちの少なくとも1つを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項13のいずれか1項に記載の装置。

【請求項15】 前記所定の相関関係は、前記第1情報と前記第2情報との最良の相関関係を含むことを特徴とする請求項2乃至請求項14のいずれか1項に記載の装置。

【請求項16】 前記種々の情報は、前記所定物体の形状に関する情報を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項15のいずれか1項に記載の装置。

【請求項17】 前記種々の情報は、前記装置の光学収差に関する情報を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項15のいずれか1項に記載の装置。

【請求項18】 前記装置は、前記所定物体を撮像する広帯域明視野撮像システムを含み、前記獲得手段は、前記広帯域明視野撮像システムにより前記所定物体の画像情報を獲得することを特徴とする請求項1乃至請求項17のいずれか1項に記載の装置。

【請求項19】 前記第1手段は、前記候補物体の形状に関する情報をフーリエ処理手法により変換し、該候補物体の変換画像情報を獲得することを特徴とする請求項1乃至請求項18のいずれか1項に記載の装置。

【請求項20】 前記所定物体は、基板上に形成されて位置合わせに用いられるアライメントマークを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項19のいずれか1項に記載の装置。

【請求項21】 前記装置は、前記アライメントマークのアライメントを決定するアライメント装置を含み、前記アライメント装置は更に、前記第2手段により決定された前記候補物体の形状情報に基づいて、前記アライメントを決定する第3手段を有することを特徴とする請求項20に記載の装置。

【請求項22】 前記装置は、前記アライメント装置を備え、且つマスク上に形成されたパターンを基板上に露光する露光装置を含むことを特徴とする請求項21に記載の装置。

【請求項23】 所定物体の光学像に基づき種々の情報を得る装置の動作方法であって、
獲得手段により前記所定物体の光学像に関する第1情報を獲得し、
第1手段により少なくとも1つの候補物体の形状に関する情報に基づき、該候補物体の光学像に関する第2情報を獲得し、
第2手段により、前記第1情報と前記第2情報との相関をとり、該相関結果に基づき前記種々の情報を獲得することを特徴とする方法。

【請求項24】 前記第1手段は、
複数の候補物体から成る母集団を設定する設定手段と、
前記母集団の個々の候補物体にそれぞれ対応する複数の前記第2情報を獲得する手段と、
前記母集団を更新する更新手段と、
前記母集団の中から1つの母集団を決定する第1決定手段と、を含み、
前記第2手段は、
前記第1手段に決定された母集団の中から、前記第1情報と所定の相関関係を満たす前記第2情報を持つ1つの候補物体を決定する第2決定手段を含み、
前記第2決定手段に決定された前記候補物体に基づき、
前記種々の情報を獲得することを特徴とする請求項23に記載の方法。

【請求項25】 前記第1手段は、適応最適化法に基づく大域探索方法に基づき、前記所定物体の光学像に類似した像を生じる候補物体の1つの母集団を決定することを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項26】 前記大域探索方法は、遺伝型アルゴリズム技法または進化的戦略技法を含むことを特徴とする請求項25に記載の方法。

【請求項27】 前記第1手段は、所定の許容基準が満たされると、前記1つの母集団を決定することを特徴とする請求項24乃至請求項26のいずれか1項に記載の方法。

【請求項28】 前記許容基準は、前記母集団の各候補物体に対応する前記第2情報と前記第1情報との相関が所定の相関関係に達したことを含むことを特徴とする請求項27に記載の方法。

【請求項29】 前記第2決定手段は、探索原点に基づき探索を行う局所探索方法により、前記第1情報と前記所定の関係を満たす前記第2情報を持つ1つの候補物体を決定することを特徴とする請求項24に記載の方法。

【請求項30】 前記局所探索方法は、ニュートン技法またはシンプレックス技法を含むことを特徴とする請求項29に記載の方法。

【請求項31】 前記第1情報及び前記第2情報は、画像情報を含むことを特徴とする請求項23乃至請求項30のいずれか1項に記載の方法。

【請求項32】 前記候補物体の形状に関する情報は、

反射率情報、反射率の位相情報、大きさの画素数列の勾配情報、位相の画素数列の勾配情報、物体の幅比情報、平行移動比情報のうちの少なくとも1つを含むことを特徴とする請求項23乃至請求項31のいずれか1項に記載の方法。

【請求項33】 前記所定の相関関係は、前記第1情報と前記第2情報との最良の相関関係を含むことを特徴とする請求項24乃至請求項32のいずれか1項に記載の方法。

【請求項34】 前記種々の情報は、前記所定物体の形状に関する情報を含むことを特徴とする請求項23乃至請求項33のいずれか1項に記載の方法。

【請求項35】 前記種々の情報は、前記装置の光学収差に関する情報を含むことを特徴とする請求項23乃至請求項33のいずれか1項に記載の方法。

【請求項36】 前記装置は、前記所定物体を撮像する広帯域明視野撮像システムを含み、
前記獲得手段は、前記広帯域明視野撮像システムにより前記所定物体の画像情報を獲得することを特徴とする請求項23乃至請求項35のいずれか1項に記載の方法。

【請求項37】 前記第1手段は、前記候補物体の形状に関する情報をフーリエ処理手法により変換し、該候補物体の変換画像情報を獲得することを特徴とする請求項23乃至請求項36のいずれか1項に記載の方法。

【請求項38】 前記所定物体は、基板上に形成されて位置合わせに用いられるアライメントマークを含むことを特徴とする請求項23乃至請求項37のいずれか1項に記載の方法。

【請求項39】 前記装置は、前記アライメントマークのアライメントを決定するアライメント装置を含み、
前記アライメント装置は更に、前記第2手段により決定された前記候補物体の形状情報に基づいて、前記アライメントを決定する第3手段を有することを特徴とする請求項38に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、物体を光学像と相関付けるための技術に関し、特に、このような相関技術を物体のアライメント、より詳しくはマイクロデバイス製造における露光のために半導体基板のアライメントに応用する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイス、液晶表示装置等のようなマイクロデバイスの製造においては、通常、感光材料が塗布されたウェーハ（またはガラスプレート等の基板）上のショットエリアをレチクル（またはフォトマスク等）上に形成されたパターンで露光装置により露光する。ステップ・アンド・リピート式露光システムは、露光動作を繰り返して、レチクル上のパターン全体についてウェーハ上の一連のショットエリアを露光する。ステ

ップ・アンド・スキャン式露光装置は、露光光に対してレチクル及びウェーハを走査することによりレチクル上のパターンをウェーハ上に露光する。

【0003】半導体デバイスは、通常複数の回路パターン層をウェーハ上にオーバーレイする、あるいは重ね合わせることによって製造される。これらの回路パターン層は互いに正確に位置合わせ、すなわちアライメント (alignment) されなければならない。従来、アライメントのための基準を得るためにウェーハ上に1つ以上のマークを形成することが行われている。順次次のレチクルパターンをこのようなウェーハアライメントマーク (wafer alignment mark) と合わせることによって、次の層の回路パターンが前の層の回路パターンと位置合わせされる。詳しくは、ウェーハとレチクルのアライメントは、まずアライメントマークを検出してそれらのマークの位置を測定した後、ウェーハまたはレチクルの位置をレチクルパターンに対するアライメントマークの相対位置に基づいて調整することにより行われる。例えば、水谷 (Mizutani) 他に対して発行された米国特許第5,601,957号には、マイクロデバイス製造に関連してウェーハアライメントマークを利用することが記載されている (同米国特許は参照によって全て本願に編入される)。

【0004】現在、ウェーハアライメントマークの位置を検出し、測定するには、数多くの形態のアライメントシステムを利用することができる。一般に、これらのアライメントシステムには、アライメントマークを撮像する、またはアライメントマークに照射された入射光から生じる反射光、回折光もしくは拡散光を検出する、あるいはこれらの両方の機能を果たすための光学系が通常組み込まれる。アライメントマークの位置は、その像から、または上記のような反射光、回折光もしくは拡散光の特性 (例えば位相、強さ、干渉模様など) を測定する、あるいはその両方によって求めることができる。そして、ウェーハは、その検出されたアライメントマークの位置に基づいてレチクルパターンとアライメントすることができる。

【0005】アライメントは、いくつかの原因によって誤差が生じる。例えば、アライメントマークの非対称性は、適正に補正されないと、アライメントシステムがアライメントマークの実際の位置を読み誤る結果になり得る。アライメントマークの非対称性の原因としては、マーク形成プロセスによって生じる変形及び/または付着物 (例えば金属層、フォトレジスト層等) の存在等がある。非対称なアライメントマークによって生じるアライメント誤差は、ランダムにではなく、むしろ系統的に生じる傾向がある。しかしながら、マークの非対称性の原因と程度を突きとめて、別途ウェーハアライメントマークのアライメント時にそのような非対称性を補正できるようにすることは困難であろう。アライメントシステム

に関しては、光学収差及びその他の光学系の欠陥や固有の人工的要因も、適正に補正されない場合、アライメント誤差の原因になり得る。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】半導体製造産業では、オーバーレイに係る費用の縮小及び線幅の細密化に伴いより厳密な精度のオーバーレイを得ようとする努力が続けられるにつれて、アライメントの重要性が大きくなってきた。オーバーレイの精密アライメントは高解像度半導体製造にとって必須要件である。従って、ウェーハアライメント・プロセスにおける系統誤差を特定し、較正するための手段を開発することが求められている。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、物体を所与の光像と相関付ける方法にある。本発明のこの方法は、基板アライメントのために実際のアライメントマークの断面形状を調べるのに効果的に利用することができる。アライメントマークの幾何学的形態が明らかになったならば、アライメント動作を正確に行うことができる。

【0008】本発明の物体 - 像相関プロセスは、その最も広範な態様において、通常所与の光学像に最も一致する候補物体を探すステップを具備する。まず、その所与の実際の光学像に類似した像を生じそうな1つ以上の候補物体が立てられる。次に、そのような候補物体の画像がフーリエプロセスによってシミュレートまたは計算される。そのような計算画像と所与の実際の光学像との相関が取られ、その相関の結果が許容可能でなければ、新たに1つ以上のよりよい候補物体が立てられる。このプロセスが、該所与の実際の光学像と最良の相関を示す計算画像が見つかるまで繰り返される。最良相関画像を生じる候補物体が実際の物体を表す。

【0009】この物体 - 像相関プロセスは、光学的アライメントシステムを使用する基板のアライメントを容易にするために実施することが可能である。具体的には、実際のアライメントマークの光学像に対する候補物体によって、該実際の光学像と相関を取ることができる画像を得る。その実際の光学像に対して最良の相関を示す画像が得られる候補物体を決定する。そのような最良の相関を示す候補物体は、実際のアライメントマークの優れた表現ないしは写像である。この情報がウェーハアライメント操作を行うために利用される。

【0010】本発明のもう一つの態様においては、所与の光学像を生じるとされる最尤候補物体 (適切な候補物体、実際の物体に最も類似した候補物体) を迅速に決定することができる方法が得られる。この方法は、最適化された像相関結果を与えらる候補物体の最良母集団の適応大域探索ステップ、及びその後の最良個候補物体を特定するための局所探索ステップを具備する。

【0011】本発明のさらにもう一つの態様においては、適応大域探索のために「遺伝的アルゴリズム」のよ

うな適応最適化法が用いられる。より詳しくは、光学的アライメントシステムを用いた基板アライメント時に、遺伝的アルゴリズムを用いてアライメントマーク候補物体を決定することができる。

【0012】また、本発明の装置は、所定物体の光学像に基づき種々の情報を得る装置（図1）であって、前記所定物体の光学像に関する第1情報を獲得する獲得手段（12）と、少なくとも1つの候補物体の形状に関する情報に基づき、該候補物体の光学像に関する第2情報を獲得する第1手段（44、46）と、前記第1情報と前記第2情報との相関をとり、該相関結果に基づき前記種々の情報を獲得する第2手段（44、46）とを有することを特徴とするものである。

【0013】また、本発明の方法は、所定物体の光学像に基づき種々の情報を得る装置の動作方法（図9、10）であって、獲得手段により前記所定物体の光学像に関する第1情報を獲得し（ステップ85）、第1手段により少なくとも1つの候補物体の形状に関する情報に基づき、該候補物体の光学像に関する第2情報を獲得し（ステップ70、72、74、75、76、またはステップ80、82、84、86、88、90、92、94、96）、第2手段により、前記第1情報と前記第2情報との相関をとり、該相関結果に基づき前記種々の情報を獲得する（ステップ78、またはステップ97、98）ことを特徴とするものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施するのに最良であると考えられる形態について説明する。ここでの説明は、本発明の原理を具体例に説明するためになされるものであり、限定的な意味に解釈すべきものではない。本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載によって最も適切に決定される。

【0015】説明を容易にするため、本発明の像・物体相関の態様は、基板処理用の投影露光装置に使用されるオフアクシス系の広帯域照明アライメントシステムの一実施例との関連で説明する。しかしながら、本発明は、物体と像の相関を取ることが望ましい他のシステムにおける使用についても、本発明の範囲及び意図を逸脱することなく容易に適応可能であることは理解されよう。

【0016】図1は、本発明を採用したウェーハ14のような基板を処理するための投影露光装置10及びアライメントシステム12の概略ブロック図である。ウェーハ14は、露光装置10の投影レンズを含む投影システム20の下方のウェーハステージ18に支持されたウェーハホルダー16上に真空吸引によって保持される。ウェーハホルダー16及びウェーハステージ18は、精密制御下にサーボモータ22によりいくつかの自由度（例えば3から6自由度）で動かされて、ウェーハ14を投影システム20に対して所望の位置に及び／またはステップ・アンド・リピート露光プロセスに従って位置決め

するよう構成されている。レチクル26は、サーボモータ24によって2次元方向に移動可能であり、かついくつかの自由度（例えば3または6自由度）で回転可能である。サーボモータ24は、レチクル26を投影システム20の光軸に関して位置決めするよう精密制御される。ランプ30（例えば高圧水銀灯）からの投影照明光は、照明システム32から放出される照明光の大半がフォトレジストが感光する波長帯を持つように、一連のレンズ、シャッター、フィルタ、ビームスプリッタ及びミラー（図示省略）を通してレチクル26へ向け送られる。照明システム32内の集光レンズ（図示省略）を通った照明光はレチクル26のパターンエリアを一様に照明し、そのパターンが表面にフォトレジスト層を有するウェーハ14上に投影される。その他の上記投影露光装置10に関する詳細は、米国特許第5,601,957号に記載されている。なお、同米国特許は、参照によって全て本願に編入される。

【0017】投影システム20の片側には、ウェーハ14上のアライメントマーク（図2も参照のこと）をオフアクシス法によって撮像処理するアライメントシステム12が設けられている。アライメントシステム12は、投影レンズとの関係で、アライメントシステム12の広帯域照明光が投影システム20の下方に投影されるように取り付けられている。概して、アライメントシステム12は、広帯域照明用白色ハロゲンランプ34（好ましくは、ウェーハ処理系への熱の進入を防ぐためウェーハ処理チャンバの上部に設ける）、顕微鏡システム36、ターゲットプレート38、ビーム拡大器40、CCDカメラ42のような撮像デバイス、及びアライメント処理装置（第1の手段、第2の手段、第3の手段、アライメント手段）44よりなる。アライメントシステム12はシステムコンピュータ46及び表示装置48に接続されている。これらハロゲンランプ34、顕微鏡システム36、ターゲットプレート38、ビーム拡大器40、CCDカメラ42は、光学撮像手段としての広帯域明視野撮像システム（光学撮像システム）を構成している。

【0018】アライメント時には、ハロゲンランプ34からの非露光波長の光が光ファイバ束47を通して顕微鏡システム36へ送られ、ウェーハ14を照明する。次に、ウェーハ14からの反射光は同じ顕微鏡システム36を通して送り返され、ビームスプリッタ49によってターゲットプレート38へ進路を変える。ウェーハアライメントマークの像がターゲットプレート38の透明ウィンドウ内に形成される。このように形成されたウェーハアライメントマークの像はCCDカメラ42によってビデオ信号に変換され、アライメント処理装置44へ送られる。本発明によるアライメント補正に必要なアライメント測定機能及び計算が、後でより詳細に説明するように、アライメント処理装置44により行われる。アライメント結果は、次いでシステムコンピュータ46によ

って処理され、ウェーハ14の露光前にウェーハステージ18及び／またはレチクルステージ28の位置を制御するために用いられる。アライメントシステム12は、直交する2方向のアライメント位置を検出するように構成することが可能である。システムによっては、ウェーハ14の平面内にあって上記アライメントシステム12により検出されるウェーハアライメントマークの方向（例えばX方向）と直交する第2の方向（例えばY方向）に沿って配置された第2のウェーハアライメントマークの位置を検出するために、第2のアライメントシステムを設けることも可能である（図2も参照のこと）。

【0019】図1に示すようなアライメントシステム12の構成は、総じてフィールド像アライメントシステム（フィールド撮像アライメントシステム）に対応したものであるということでは理解されよう。このようなシステム内の光学的構成に関するより詳しい説明については、例えば前記米国特許第5,601,957号を参照することができる。なお、同米国特許は参照によって全て本願に編入される。また、ここで開示されている本願発明はウェーハアライメントシステム、特にフィールド像アライメントシステムに限定されるものではない。総じてフィールド像アライメントシステムに言及するのは、もっぱら本発明の像相関の構想を効果的に実施することが可能な環境の一形態を例示説明する目的のためでしかない。

【0020】アライメント処理装置44の像-物体相関の態様を説明する前に、ウェーハ上のアライメントマーク及びその結像ないしは像形成についてある程度詳細に説明することが役に立つと思われる。図2は、ウェーハ14上のウェーハアライメントマーク50及び52のレイアウトを単純化して示す平面図である。ウェーハアライメントマーク50及び52は、投影露光システム10によって内側に設けられた回路パターン（露光が行われるショットエリア54の周部に配置されている。より詳しくは、これらのウェーハアライメントマークはそれぞれX軸及びY軸方向に互いに直交させて配置されている。また、図3に示すように各アライメントマークは、前のプロセスによってウェーハにエッチングにより形成され、互いに平行に一定間隔を置いて配列された山部56（または凸部）と谷部58（または凹部）よりなる。図3は、それらの各山部と谷部が完全に対称状態をなす理想的な状態を示している。例えば、いわゆる「タイプナイン」アライメントマークは、各々70ミクロンのオーダーの長さL及び6ミクロンのオーダーの幅を有し、互いに12ミクロンのオーダーの中心間隔Dでエッチングされた一連の9つの谷部で構成される。

【0021】図4において、アライメントシステム12における顕微鏡システム36中の光学素子を通しての像形成によって、アライメントマークの谷部と山部の光学像は、リップル波形60の様相を呈し、その各リップル

の谷62が図3の谷部58の縁部の位置に対応している。図4は、アライメントマークに完全な対称性がある、アライメントマーク上のフォトリソ層またはアライメントシステム12中の光学系により光学歪みが全く導入されない理想的な状態の像を示したものである。図5は、アライメントマークの谷部に歪み（すなわち非対称性）があるアライメントマーク64を示し、図6はその光学像の波形65を示したものである。同様に、様々な原因による光学歪みによって光学像に別の歪みが生じ得る。前に述べたように、このようなアライメントマーク及び光学歪みはウェーハ処理時のミスアライメントの原因となる。歪んだ光学像から実際の歪みの原因及び／または歪みを有する実際のアライメントマーク形状を突きとめることは困難である。光学像の歪みは、ウェーハ処理時におけるアライメントマークの実際の位置の測定で誤差を生じる原因となり得る。

【0022】本発明は、所与の光学像について実際の物体はどのように見えるか（すなわち物体-像相関）を調べるための方法を提供するものである。図9は、本発明の物体-像相関プロセスの技法を一般的に図解したフローチャートである。このプロセスをウェーハアライメント用に実施した特定形態の詳細については、後で図10を参照して説明する。本発明のプロセスは、基本的に、所与の光学像に最もよく一致する候補物体を探すステップを具備する。まず、ステップ70で、実際の光学像と類似した像を生じそうさせるような最初の候補物体が1つ以上立てられる。ステップ72で、そのような候補物体の画像が数学的変換によって（例えばフーリエプロセスを用いて）シミュレートまたは計算される。このようにして得られた計算画像がステップ74で実際の所与の画像と突き合わされる。このステップのプロセスは、適当な相関関数を用いることによって容易になる場合もある（ただし、これは必須ではない）。ステップ75でこのプロセスを終了するための停止判断基準が満たされなければ、ステップ76で1つ以上の新しい候補物体が立てられる。このプロセスは、ステップ75で停止判断基準が満たされるまで繰り返され、ステップ75で基準が満たされると、最良候補物体の探索は終了する。ステップ78で、探索の終わりに見つかった実際の物体と最もよく一致する候補物体が実際の物体を表す物体として選択される。

【0023】最良候補物体を見つけるためには多くの方法が利用可能である。ステップ70における最初の候補物体は、使用する探索方法によってランダムに生成することもできれば、所定のものを用いることもできる。例えば、遺伝的アルゴリズムや進化的戦略技法のような大域探索法（後ほど図10の実施形態との関連でより詳しく説明する）では、無作為初期母集団が用いられるのに対し、ニュートン法やシンプレックス法のような局所探索法では、ユーザ定義探索原点が用いられる。大域探索

法と局所探索法にはそれぞれ長所と短所がある。ニュートン法またはシンプレックス法、または他の同様の局所探索法によって与えられる結果は原点の関数である。従って、このような局所探索法の結果にとっては原点の選択が極めて重要であり、このことが所与の像に対する最良候補物体の探索にこのような局所探索法を用いることについての問題となる。しかしながら、局所探索法は、遺伝的アルゴリズムや進化的戦略が必要な大域探索法より比較的迅速である。局所探索法では、通常、極小及び／または極大が迅速に見つかる。この方法は、局所「最良」が見つかった時、それを検知し、その点で探索を停止するためのビルトイン機構を有する。これに対して、遺伝的アルゴリズム、進化的戦略、及びその他同様の大域探索法（例えば焼きなまし法等）は、本質的にいつ探索を止めるかを分別する方法を持たない。従って、大域探索法と局所探索法を組み合わせる用いることがより効率的なことがしばしばある。

【0024】ステップ75の停止判断基準は、最良候補物体を、局所探索法の結果として特定することができるか、あるいは大域探索法において「それまで見つかった最良候補」として特定することができる点として定義することができる。ツーステップ法（大域探索に続けて局所探索を行う）においては、大域探索法を「当面」それまで見つかった最良候補物体を得るために用いた後、それらの候補物体が局所最良候補物体を得るための局所探索法の原点として用いられる。

【0025】大域探索法の終わりを見極めるには多くの方法がある。その1つのやり方は、候補物体の母集団が互いに所定の範囲内に収束するまで待つ方法である。すなわち、全体が1つの小さい範囲内にある母集団が見つかったならば、それまでの最良候補物体が局所最良候補物体を見つけるための局所探索の原点として用いられる。この方法は緩慢なことがある。もう一つの方法は、単に大域探索法を所定期間だけ実行した後、それまでの最良候補物体を局所探索法に転用するやり方である。探索を終了するためのこれ以外の方法を本発明の範囲及び意図を逸脱することなく用いることも可能である。

【0026】本発明のもう一つの態様によれば、所与の物体に対する像をシミュレートすることによって、歪んだアライメントマークの実際の光学像と最良の相関を示す（すなわち最も一致する）アライメントマーク形状を決定することができる。その歪んだアライメントマーク形状の幾何学的形態が分かったならば、そのアライメントマークの正確な位置を決定することができる。光学歪みの影響は系統的なものであり、画像シミュレーションプロセス時に適切に対応あるいは補正することが可能である。

【0027】従って、図9に示す物体-像相関プロセスはウェーハアライメントを容易化するための実施形態が可能である。実際のアライメントマークを、そのアライ

メントマーク光学像と最良の相関を示す像を生じさせる候補物体から決定することができる。この結果を用いてアライメント動作が行われる。このアライメントシステムの例では、物体-像相関プロセスは、専用のアライメント処理装置44を用いて行うこともできれば、システムコンピュータ46を用いて行うこともでき、該システムコンピュータは、インテル（Intel）80586型プロセッサを用いたパーソナルコンピュータのような汎用高速コンピュータであってもよい。

【0028】画像シミュレーションに関しては、例えば1つ以上のフーリエ変換とフィルタリングステップを含むフーリエプロセスに基づいて行うことができる。光学技術分野では、顕微鏡の光学素子の構成がフーリエ光学に対応するという事は周知である。そのために、顕微鏡から得られる光学像をフーリエプロセスを用いてその物体からモデル化することができる。従って、アライメントマークの谷部58と山部56の像は、フーリエプロセスによって数式で表すことができる。

【0029】図7（A）は、フーリエ変換によって得られた理想的な対称状アライメントマークについての像波形66を示したものであり、図7（B）は、このウェーハアライメントマークの1つの谷部に対応した波形66の部分の拡大図である。図8（A）は、フーリエ変換によって得られた非対称状アライメントマークの像波形68を示したものであり、図8（B）は、このウェーハアライメントマークの1つの谷部に対応した波形68の部分の拡大図である。図4と6の像波形を比較するならば、波形の形状は異なるが、両波形の谷はアライメントマークの谷部の縁部の位置に対応しているということが分かる。従って、フーリエプロセスでは、実際の光学像の優れた写像が得られる。

【0030】フーリエプロセスを用いて物体の画像を計算することができる一方、逆フーリエプロセスによって物体の形状をその像から容易に計算することができない。これは、最初のフーリエプロセスでは物体に関連する一部の情報は捨てられ、その情報を逆フーリエプロセスで回復することはできないことによるものである。例えば、アライメントシステム12の顕微鏡システム36中の光学素子（例えばレンズ、フィルタ等）はアライメントマークからの反射光、回折光及び／または拡散光の一部しか捕捉しない。アライメントマークからの反射光、回折光及び／または拡散光の残りの部分はそれらの光学素子を通過しない。例えば、有限寸法のレンズは、アライメントマークからの反射光、回折光及び／または拡散光のほんの一部しか捕捉しない。それらの反射光、回折光及び／または拡散光の一部はレンズを通らない。数学的に言うと、光学素子を通過する光のフーリエ変換では、それらの捨てられる光の部分について対応するために一部のデータを捨てる必要がある。フーリエプロセスにより得られた像から物体の再構築を試みて

も、このような捨てられたデータは失われた情報である。そのために、アライメントマークの実際の像を逆フーリエ処理することによってその実際のアライメントマーク物体を再現することは不可能である。

【0031】本発明のもう一つの態様においては、所要の光学像を生じさせそうな最尤候補物体をより迅速に決定することを可能にする方法が得られる。この方法は、最適化された物体・像相関結果が得られるような候補物体の最良母集団を探すための適応大域探索ステップ、及びその後の最良個候補物体を特定するための局所探索ステップを具備する。実際の物体に対する最尤候補の最良母集団を探すための大域探索では、例えば「遺伝型アルゴリズム」、「進化的戦略」、あるいはその他同様の技法に基づく適応最適化技術が用いられる。遺伝型アルゴリズム技法については周知であり、文献も豊富である。例えば、デービッド・イー・ゴールドバーグ (David E. Goldberg) 著の「探索、最適化、及び機械学習における遺伝型アルゴリズム (Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning)」(アディソン・ウェズリー (Addison-Wesley) 1989年刊) を参照のこと。なお、同書は参照によって全て本願に編入される。完全な理解を図るために、本願では、本発明に適用される遺伝型アルゴリズム属性の一部について簡単に説明する。

【0032】一般に、遺伝子型アルゴリズムは、前に繰り返された解を求める試みから得られたフィードバックに基づいて、問題の最良の解答を無作為に探索する方法である。遺伝型アルゴリズムは、まずビット群(ビットストリング)によって表される関数入力(無作為選択母集団)で開始される。その現在のビットストリング母集団を用いて、新しい母集団中のビットストリングが平均して現在の母集団中のストリングより良くなるようにして、新しい母集団が生成される。具体的に言うと、「選択」、「交配」及び「突然変異」のステップを用いて1つの母集団世代から次世代への移行が行われる。選択ステップでは、次世代を生成するために現世代中のどのビットストリングが用いられるかが決定される。これは、例えばバイアス付き無作為選択法を用いて行われる。すなわち、現在の母集団から、その母集団中の「最良」ビットストリング(すなわち適応度関数または目的関数によって決定される結果に基づき、より良い結果を与えらると思われるような最高の適応度値を持つストリング)が選択される可能性が最大(例えば2回以上)となるようにして親が無作為に選択される。交配ステップでは、次世代のビットストリングの実際の形が決定される。この点で、選択された親は、それぞれのストリングの部分の交配または交換を経る。これには、多くの交配技法を利用可能である。例えば、選択された親の各ペア2つのストリング間で両ストリングのビットの選択された長さを

取り換えることにより2つの新しいストリングを生成することができる。最後に突然変異ステップは、例えばアルゴリズムの始めに一定の小さい突然変異確率を設定するステップを具備する。次に、全ての新しいストリング中のビットがこの突然変異確率に基づいて変更される。その結果として、新しい世代のビットストリングが得られる。以上の選択、交配及び突然変異ステップを繰り返して各々の新世代が生成される。このプロセスが、最大数の世代のような一定の判断基準に達するか、あるいは最良母集団から許容可能な結果が得られるまで続けられる。

【0033】進化的戦略技法は遺伝型アルゴリズムと非常に類似している。その主な違いは、進化的戦略では、入力が、遺伝型アルゴリズムの場合におけるような2値ストリングと異なり、実際の値で表されるということである。遺伝型アルゴリズムと進化的戦略技法との間には多くの類似点があるため、本願においては、別途明記しない限り、遺伝子型アルゴリズムについて言及する場合、全て進化的戦略にも当てはまるものとする。

【0034】図10は、本発明の一実施形態による物体・像相関用のアライメントマークの候補物体を決定するための遺伝型アルゴリズムを使用するアライメントシステム12の態様を図解した機能ブロック図である。当業者ならば、本発明の範囲及び意図を逸脱することなくこの実施形態の範囲内において1つ以上のステップを修正、付加あるいは置換することが可能なことは理解されよう。この物体・像相関プロセスの始めには、ステップ80で、アライメントマークに対するN個(例えばN=10)の候補物体の初期母集団が無作為に生成される。これらの候補物体の形状には、様々に異なる非対称形状が含まれているべきである。候補物体の表現については、後ほど図11及び12を参照してより詳細に説明する。

【0035】ステップ82のフーリエ処理では、上記のような候補物体の画像が計算される。ステップ84では、そのような計算画像とステップ85で得られた実際の像との相関が取られる。ステップ86で許容判断基準が満たされない場合は、ステップ88の選択プロセスで現在の母集団中の候補物体から次世代のためのN個の親が無作為に選択される。この新世代の親の選択を容易にするために目的関数が適用される。物体・像相関に関しては、目的関数は、計算画像と実際の像との間の相関の近接度(すなわち適応度値)が求められるようにあらかじめ定義することになる。このような目的関数によって決定される中で最高の適応度値を持つ候補物体は、新しい親として選択される確率がより高いはずである。各候補は、そのような確率に応じて2回以上選択され得る。ステップ90の交配プロセスでは、選択された親のビットストリングの交配によって新しいストリングが生成される。それらの新しいストリングは、その後ステッ

プ92の突然変異プロセスを経、ステップ94で次世代についてのアライメントマーク候補物体の新しい母集団が生成される。上記のステップが、ステップ86で許容判断基準が満たされるまで繰り返される。

【0036】ステップ86の許容判断基準は、所定の世代数（すなわち反復回数）の終了、最新世代における候補物体の最良母集団に基づく許容可能な相関結果の達成、母集団の定義済み範囲内の収斂に基づくもの、あるいはその他同様の判断基準を用いることができる。ステップ86で許容判断基準が達成されたならば、ステップ96で候補物体の最良の母集団が得られる。その後、ステップ97で、その最良母集団より1つの最良の候補物体が決定される。これは、シンプレックス探索法のような局所探索法を用いて行うことができる。その最良候補物体は、顕微鏡で得られる実際の像を生じる実際のアライメントマークの形状を表すものと見なされる（ステップ98）。この候補物体は、非対称性や横方向の平行移動に関する情報を含め、実際のアライメントマークに関する貴重な情報を与える。このような情報は、アライメント処理装置44及び／またはシステムコンピュータ46で処理されて、ステップ100のウェーハアライメント動作を実行するようレチクルステージ及びウェーハステージ用のサーボモータ22及び24を制御するために用いられる。また、この情報は、同じアライメントマークの将来のアライメントについては同じ校正補正值が適用されるようにアライメントシステム12を校正するために用いることもできる。この校正では、アライメントマークの非対称性やアライメントシステム12における光学歪みから生じる系統的アライメント誤差が補正される。

【0037】上記の相関プロセスは、アライメント処理装置44、あるいは上記相関プロセスの諸関数がプログラムされたシステムコンピュータ46のような計算装置によって実行される。上記相関プロセスの種々の関数が開示されているならば、そのプロセスを実施するための適切なプログラムコードを開発することはコンピュータプログラマーの通常の技術的能力の範囲内で可能である。

【0038】光学収差に関しては、物体をフーリエ処理して画像を得る際に求めることができる。フーリエ処理では、対応する光学系の開口数を表すためのフィルタ関数を含めることが可能であることは知られている。所与の既知の物体形状については、その像に対する光学収差の影響はこのフィルタで求めることができる。この情報は、アライメントシステム12の光学システム36を用いた像形成に対する光学収差の影響を校正により取り除くために利用することができる。

【0039】次に、図11及び12を参照して、図9の物体・像相関プロセスのステップ70における物体及び図10の物体・像相関プロセスのステップ80における

アライメントマーク物体の表現態様ないしは写像について説明する。ある物体を表すには多くの方法が利用可能である。物体・像相関のためには、探索時間を短くするために変数の数を少なく保つことが望ましい。さらに、図10を用いて説明したアライメントマーク相関プロセスで用いられる大域探索方式（大域探索ルーチン）では、同じ物体を複数の形で表す結果になり得る方法を用いるべきではない。この好適な実施形態の方式は、物体を複素画素列または数列、好ましくは数 $2n$ （“ n ”は整数）の複素画素数列として表すものである。この複素数列は物体の各点における大きさと位相の両方の表現を含んでいる。各画素の大きさは0と1（正規化値）の間で可変であり、他方各画素の位相は $-\pi$ と π の間で可変である。このことは、実際には2つの画素数列があって、その一方は大きさを、他方は位相を表すということの意味している。図11（A）は、物体の大きさを画素数列で表したものであり、図11（B）は、物体の位相を画素数列で表したものである。物体のフーリエ変換がこの複素画素数列に対して実行される。

【0040】さらに、アライメントマーク相関については、広範多用にわたって可能なマークをできるだけ少ない変数で表すことが望ましい。複素形式のマークを表すには、各画素を異なる変数によって表すことができる。しかしながら、それにはあまりにも多い変数が必要となり、探索プロセスの効率が低下することが考えられる。従って、変数の数を少なく保つために、各アライメントマークは、マークの一定の領域間で同じ変数を共用することによって近似される。

【0041】アライメントマークは、基本的に2つの領域（中心部と端部）を持ち、それらの2つの領域間にはある程度の勾配がある。アライメントマークは反復性の構造になっているから、端部の2つの画素は画素数列表現ではほぼ同じでなければならない。そのために、マークの端部における複素反射率、マークの中心部の複素反射率、マークの幅、マークの平行移動量、及びマークの両側の複素勾配を各々表すために変数が割り当てられる。その結果、アライメントマークの大きさと位相を下記の変数によって表すことができる構成が得られる。

- a. マークの端部の反射率の大きさ
- b. マークの端部の反射率の位相
- c. マークの中心部の反射率の大きさ
- d. マークの中心部の反射率の位相
- e. 大きさの画素数列の左側勾配
- f. 大きさの画素数列の右側勾配
- g. 位相の画素数列の左側勾配
- h. 位相の画素数列の右側勾配
- i. マークの幅比（大きさ及び位相とも同じ）
- j. マークの平行移動比（大きさ及び位相とも同じ）

【0042】図12（A）及び12（B）は、一例の非

対称状アライメントマークの大きさ及び位相をそれぞれ画素数列で表したものである。このようなアライメントマークと関連する変数は下記のような数値を取る

- a. マークの端部の反射率の大きさ $110 = 0.75$
- b. マークの端部の反射率の位相 $111 = 0$
- c. マークの中心部の反射率の大きさ $112 = 0.25$
- d. マークの中心部の反射率 113 の位相 $= p_i$
- e. 大きさの画素数列の左側勾配 $114 = 90^\circ$
- f. 大きさの画素数列の右側勾配 $116 = 60^\circ$
- g. 位相の画素数列の左側勾配 $118 = 90^\circ$
- h. 位相の画素数列の右側勾配 $120 = 60^\circ$
- i. マークの幅比 W/D (大きさ及び位相とも同じ) $= 0.5$
- j. マークの平行移動量 (大きさ及び位相とも同じ) $= 0$

【0043】図12 (A) 及び12 (B) に示す大きさと位相の表現は、各々256画素を使用する。必要画素数は、所望の精度及びマーク形状構成の複雑さに応じて変えることができる。一般には、使用する画素数が多いほど、精度と形状の多様性も大きくなる。しかしながら、画素数が多くなるほど、物体を得、その像を数学的変換により計算するのにより多くの時間を要することになる。

【0044】本発明の範囲及び意図を逸脱することなく他の複素関数を用いることが可能なこと、及び他の変数体系を作り出すことができるということは理解されよう。

【0045】アライメントシステム12は、上記の関連プロセスに従ってアライメント補正量を決定するのにアライメントマークの一連の谷部58中の1つの谷部だけを扱えばよいということは理解されよう。また、遺伝型アルゴリズムに変えて適応最適化法に基づく他の大域探索法を用いることが可能なことも理解されよう。例えば、周知の焼きなまし法を用いることができる。さらに、本願では、像・物体相関という本発明の基本構想をウェーハアライメントマークと関連したアライメントシステムでの特定実施形態に基づいて説明したが、本発明の基本思想は、物体・像相関が役立つ他のシステムにおいても実施可能である。例えば、本願で開示した相関技術はパターン認識用のシステムにおいても実施することができる。

【0046】以上、本発明を上記特定の実施形態との関連で詳細に説明したが、当業者にとっては発明の範囲及び意図を逸脱することなく種々の変更態様及び改良態様をなし得ることは自明であろう。従って、本発明は本願で説明した特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載によってのみ限定される。

【0047】

【発明の効果】本発明によれば、アライメントマーク

と、該アライメントマークの光学像との相関付け、すなわち、物体と該物体の光学像との相関付けが可能になるので、物体をアライメントする際に該物体の光学像からその物体を正確に特定することができる。そのため、本発明を半導体製造プロセス等におけるアライメントマークのアライメントに適用した場合には、アライメントの精度及び効率が容易に改善される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 投影露光装置及び本発明の一実施形態による像相関機構を採用したアライメントシステムの概略ブロック図である。

【図2】 ウェーハアライメントマーク及びショットエリアのレイアウトを示す1つのウェーハ領域の概略平面図である。

【図3】 図2の線3-3に沿って切断した対称性を持つウェーハアライメントマークの矢視断面図である。

【図4】 歪みが全くない場合における図3のウェーハアライメントマークの実際の光学像を示す説明図である。

【図5】 非対称性を持つウェーハアライメントマークの断面図である。

【図6】 図5のウェーハアライメントマークの実際の光学像を示す説明図である。

【図7】 (A) は対称性を持つウェーハアライメントマークのシミュレート画像波形を示す説明図であり、

(B) は対称性を持つウェーハアライメントマークの1箇所のへこみに対応する波形部分の拡大図である。

【図8】 (A) は非対称性を持つウェーハアライメントマークのシミュレート画像波形を示す説明図であり、

(B) は非対称性を持つウェーハアライメントマークの1箇所のへこみに対応する波形部分の拡大図である。

【図9】 本発明による物体・像相関プロセスの機能ブロック図である。

【図10】 本発明の一実施形態による適応最適化法に基づく大域探索ルーチンを用いた物体・像相関プロセスの機能ブロック図である。

【図11】 (A) は物体の大きさを表す画素列を示した説明図であり、(B) は(A)の物体の位相を表す画素列を示した説明図である。

【図12】 (A) は非対称性を持つアライメントマークの大きさを表す画素列を示した説明図であり、(B) は非対称性を持つアライメントマークの位相を表す画素列を示した説明図である。

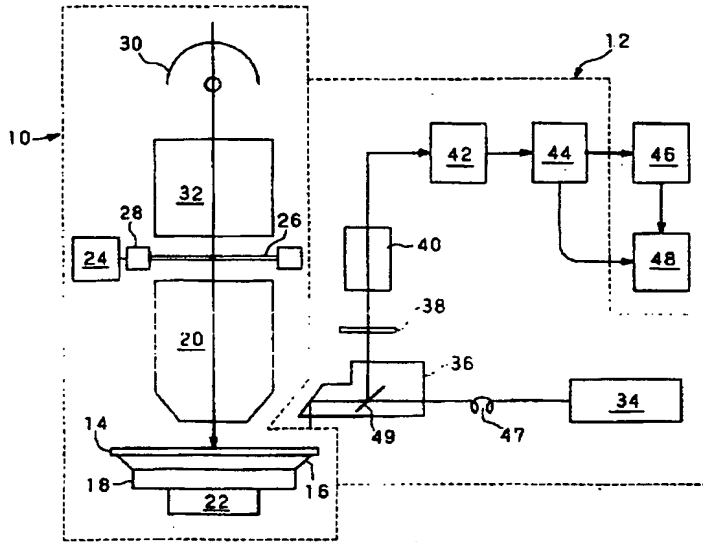
【符号の説明】

14 ウェーハ (基板)

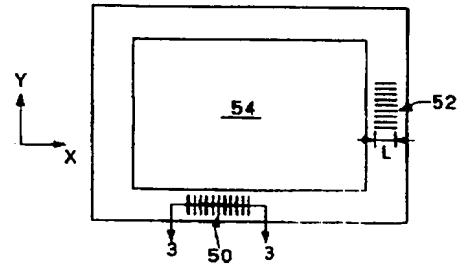
44 アライメント処理装置 (第1の手段、第2の手段、第3の手段、アライメント手段)

50, 52 ウェーハアライメントマーク (アライメントマーク)

【図1】



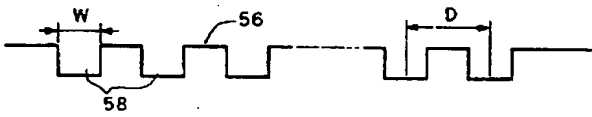
【図2】



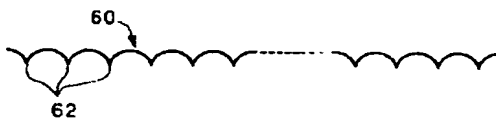
【図5】



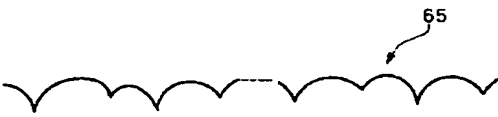
【図3】



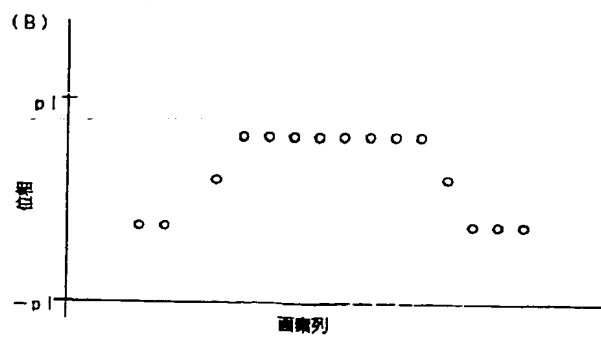
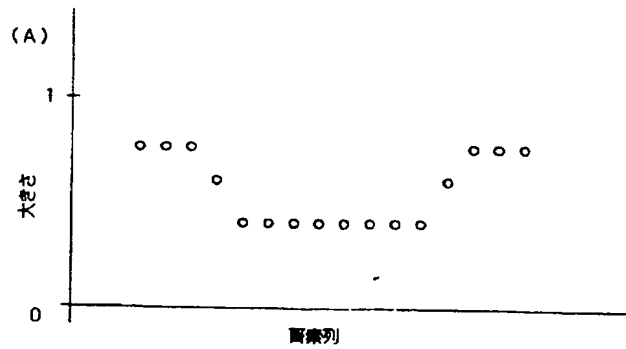
【図4】



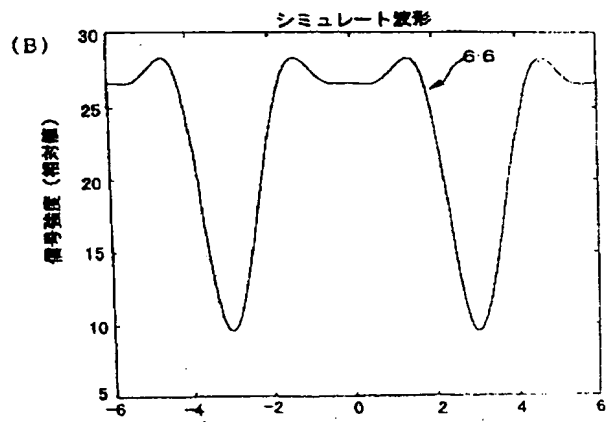
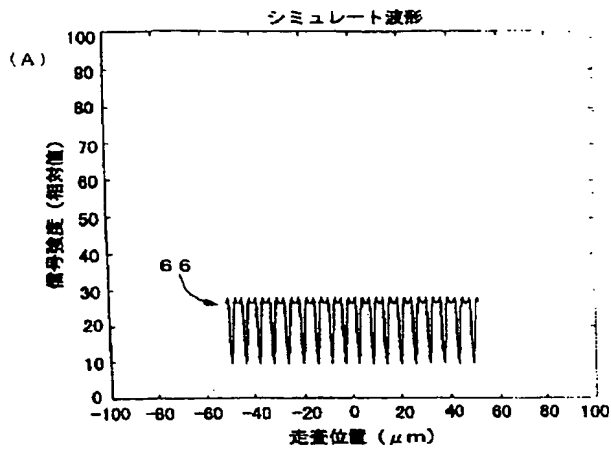
【図6】



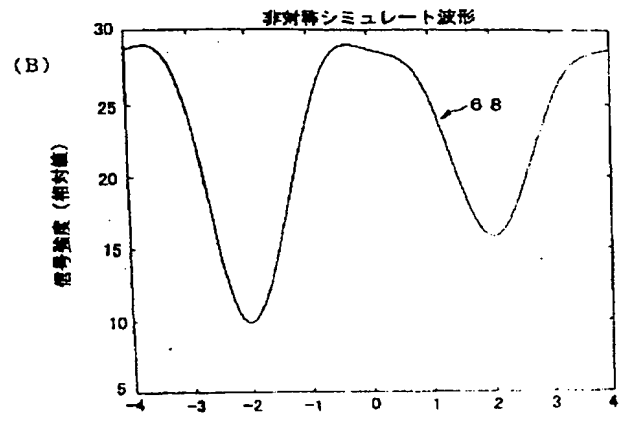
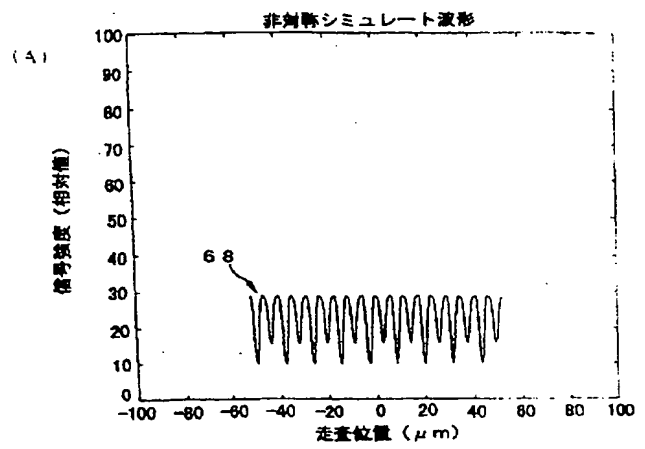
【図11】



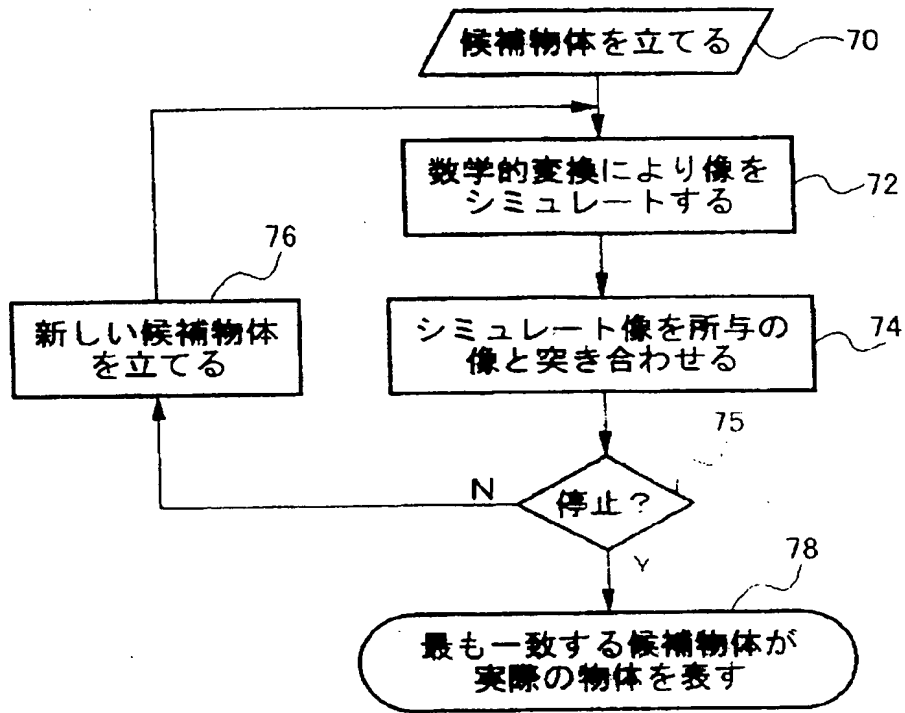
【図7】



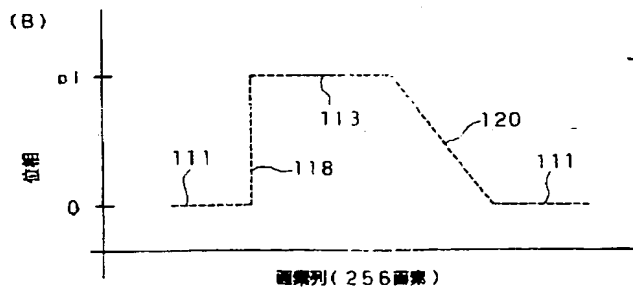
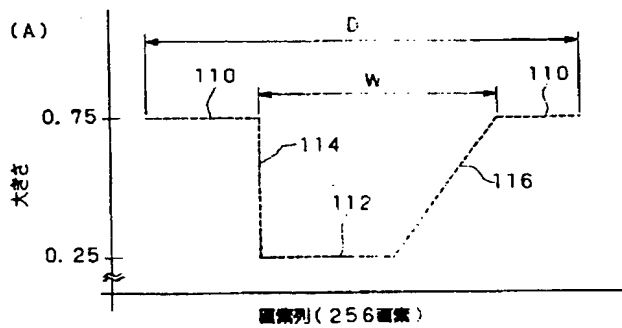
【図8】



【図9】



【図12】



【図10】

